

Optoelektronik Ara Sınav-Çözümler

Soru 1: Doğrusal olarak kutuplanmış ışık için elektrik alan $\vec{E} = \vec{E}_o \cos \pi 10^{15} (1.57 + t - \frac{3z}{c})$ şeklinde

verilmektedir. Burada alan genliği $\vec{E}_o = \frac{E'_o}{\sqrt{5}}(\hat{i} + 2\hat{j})$ ise bu ışık dalgasının,

- Ortamın kırılma indisini bulunuz (10 puan)
- Manyetik alanı (vektörel) için bir ifade türetiniz (10 puan)

Çözüm:

$$\vec{E} = \vec{E}_o \cos \pi 10^{15} (1.57 + t - \frac{3z}{c})$$

$$\vec{E} = \vec{E}_o \cos(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r} + \phi) = \left(\frac{E'_o}{\sqrt{5}}(\hat{i} + 2\hat{j}) \right) \cos \left[(\pi 10^{15})t - \left(\frac{3\pi 10^{15}}{c} \right)z + (\pi 10^{15})1.57 \right]$$

$$\vec{E}_o = \frac{E'_o}{\sqrt{5}}(\hat{i} + 2\hat{j}) \quad \omega \equiv \pi 10^{15} \quad k \equiv \frac{3\pi 10^{15}}{c} \quad \phi \equiv \pi 10^{15}(1.57)$$

- Ortamın kırılma indisini bulunuz (10 puan)

$$v = \frac{c}{n} = \frac{\omega}{k} \Rightarrow n = \frac{kc}{\omega} \Rightarrow \frac{(3\pi 10^{15}/c)c}{\pi 10^{15}} = 3 \Rightarrow n = 3$$

- Manyetik alanı (vektörel) için bir ifade türetiniz (10 puan)

$$\vec{E} = \frac{E'_o}{\sqrt{5}}(\hat{i} + 2\hat{j}) \cos \left[(\pi 10^{15})t - \left(\frac{3\pi 10^{15}}{c} \right)z + (\pi 10^{15})1.57 \right]$$

Elektrik Alan bileşeni

$$E_x = \frac{E'_o}{\sqrt{5}} \cos \pi 10^{15} (1.57 + t - \frac{3z}{c})$$

$$E_y = \frac{2E'_o}{\sqrt{5}} \cos \pi 10^{15} (1.57 + t - \frac{3z}{c})$$

Manyetik Alan bileşeni

$$\nabla \times \vec{E} = -\mu_o \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \Rightarrow \vec{H} = -\frac{1}{\mu_o} \int (\nabla \times \vec{E}) dt$$

$$\nabla \times \vec{E} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ E_x & E_y & E_z \end{vmatrix} = \left[\frac{\partial}{\partial y} E_z(z) - \frac{\partial}{\partial z} E_y(z) \right] \hat{i} - \left[\frac{\partial}{\partial x} E_z(z) - \frac{\partial}{\partial z} E_x(z) \right] \hat{j} + \left[\frac{\partial}{\partial x} E_y(z) - \frac{\partial}{\partial y} E_x(z) \right] \hat{k}$$

$$\nabla \times \vec{E} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ E_x & E_y & 0 \end{vmatrix} = \left[\frac{\partial}{\partial y} 0 - \frac{\partial}{\partial z} E_y(z) \right] \hat{i} - \left[\frac{\partial}{\partial x} 0 - \frac{\partial}{\partial z} E_x(z) \right] \hat{j} + \left[\frac{\partial}{\partial x} E_y(z) - \frac{\partial}{\partial y} E_x(z) \right] \hat{k}$$

$$\nabla \times \vec{E} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ E_x & E_y & 0 \end{vmatrix} = -\left(\pi 10^{15} \frac{3}{c} \right) \left[\frac{2E'_o}{\sqrt{5}} \sin \pi 10^{15} (1.57 + t - \frac{3z}{c}) \right] \hat{i} + \left(\pi 10^{15} \frac{3}{c} \right) \left[\frac{E'_o}{\sqrt{5}} \sin \pi 10^{15} (1.57 + t - \frac{3z}{c}) \right] \hat{j} + [0 - 0] \hat{k}$$

$$\nabla \times \vec{E} = \left(\frac{3\pi 10^{15}}{c} \right) \frac{E'_o}{\sqrt{5}} (-2\hat{i} + \hat{j}) \sin \pi 10^{15} (1.57 + t - \frac{3z}{c})$$

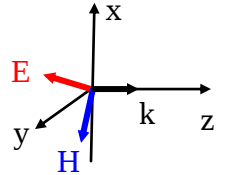
$$\vec{H} = -\frac{1}{\mu_o} \int (\nabla \times \vec{E}) dt$$

$$\vec{H} = -\left(\frac{3\pi \times 10^{15}}{\mu_o c} \right) \frac{E'_o}{\sqrt{5}} (-2\hat{i} + \hat{j}) \int \sin \pi 10^{15} (1.57 + t - \frac{3z}{c}) dt$$

$$\vec{H} = \left(\frac{3\pi \times 10^{15}}{\mu_o c} \right) \frac{E'_o}{\sqrt{5}} (-2\hat{i} + \hat{j}) \left(\frac{1}{\pi 10^{15}} \right) \cos \pi 10^{15} (1.57 + t - \frac{3z}{c})$$

$$\vec{H} = \left(\frac{3}{\mu_o c} \right) \frac{E'_o}{\sqrt{5}} (-2\hat{i} + \hat{j}) \cos \pi 10^{15} (1.57 + t - \frac{3z}{c})$$

$$\vec{H} = \vec{H}_o \cos \pi 10^{15} (1.57 + t - \frac{3z}{c}) \quad \vec{H}_o \equiv \left(\frac{3}{\mu_o c} \right) \frac{E'_o}{\sqrt{5}} (-2\hat{i} + \hat{j})$$



Soru 2: Dielektrik tensörü

$$\kappa_{ij} = \begin{bmatrix} \kappa_{xx} & +i\kappa_{xy} & 0 \\ -i\kappa_{xy} & \kappa_{xx} & 0 \\ 0 & 0 & \kappa_{zz} \end{bmatrix}$$

olarak verilen optik ortamda +z-yönünde ilerleyen ışık için özdeğer (kırılma indisleri) ve öz durumları (kutuplanma doğrultuları) bulunuz. (20 puan)

Çözüm:

$$M_{ij}(n)E_j = 0$$

$$(n^2 \delta_{ij} - \tilde{k}_i \tilde{k}_j - \kappa_{ij}) E_j = 0$$

$$n^2 \delta_{ij} = \begin{bmatrix} n^2 & 0 & 0 \\ 0 & n^2 & 0 \\ 0 & 0 & n^2 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{k}_i = n\hat{k}_i$$

$$\tilde{k}_j = n\hat{k}_j$$

$$\tilde{k}_i \tilde{k}_j = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & n^2 \end{bmatrix}$$

$$\kappa_{ij} = \begin{bmatrix} \kappa_{xx} & i\kappa_{xy} & 0 \\ -i\kappa_{xy} & \kappa_{xx} & 0 \\ 0 & 0 & \kappa_{zz} \end{bmatrix}$$

$M_{ij}(n)$ matrisi oluşturulursa

$$M_{ij} = \begin{bmatrix} n^2 - \kappa_{xx} & i\kappa_{xy} & 0 \\ -i\kappa_{xy} & n^2 - \kappa_{xx} & 0 \\ 0 & 0 & n^2 - \kappa_{zz} - n^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n^2 - \kappa_{xx} & i\kappa_{xy} & 0 \\ -i\kappa_{xy} & n^2 - \kappa_{xx} & 0 \\ 0 & 0 & \kappa_{zz} \end{bmatrix}$$

Özdeğerler:

$$\det M_{ij} = (n^2 - \kappa_{xx})(n^2 - \kappa_{xx})\kappa_{zz} - (i\kappa_{xy})[(-i\kappa_{xy})(\kappa_{zz})] = 0$$

$$\det M_{ij} = (n^2 - \kappa_{xx})^2 - \kappa_{xy}^2 = 0$$

$$n^2 = \kappa_{xx} \pm \kappa_{xy}$$

$$n_R^2 = \kappa_{xx} + \kappa_{xy} \quad n_R = \sqrt{\kappa_{xx} + \kappa_{xy}}$$

$$n_L^2 = \kappa_{xx} - \kappa_{xy} \quad n_L = \sqrt{\kappa_{xx} - \kappa_{xy}}$$

$$n_R - n_L = \sqrt{\kappa_{xx} + \kappa_{xy}} - \sqrt{\kappa_{xx} - \kappa_{xy}} = (\kappa_{xx} + \kappa_{xy})^{1/2} - (\kappa_{xx} - \kappa_{xy})^{1/2}$$

$$n_R - n_L = \kappa_{xx}^{1/2} \left[\left(1 + \frac{\kappa_{xy}}{\kappa_{xx}}\right)^{1/2} - \left(1 - \frac{\kappa_{xy}}{\kappa_{xx}}\right)^{1/2} \right] \cong \kappa_{xx}^{1/2} \left[\left(1 + \frac{1}{2} \left(\frac{\kappa_{xy}}{\kappa_{xx}}\right)\right) - \left(1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\kappa_{xy}}{\kappa_{xx}}\right)\right) \right]$$

$$n_R - n_L = \kappa_{xx}^{1/2} \left[\left(1 + \frac{1}{2} \left(\frac{\kappa_{xy}}{\kappa_{xx}}\right)\right) - \left(1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\kappa_{xy}}{\kappa_{xx}}\right)\right) \right] = \kappa_{xx}^{1/2} \frac{\kappa_{xy}}{\kappa_{xx}} = \frac{\kappa_{xy}}{\kappa_{xx}^{1/2}} = \frac{\kappa_{xy}}{n_o}$$

Özfonksiyonlar:

$$n_R^2 = \kappa_{xx} + \kappa_{xy}$$

$$M_{ij} = \begin{bmatrix} n^2 - \kappa_{xx} & i\kappa_{xy} & 0 \\ -i\kappa_{xy} & n^2 - \kappa_{xx} & 0 \\ 0 & 0 & n^2 - \kappa_{zz} - n^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \kappa_{xx} + \kappa_{xy} - \kappa_{xx} & i\kappa_{xy} & 0 \\ -i\kappa_{xy} & \kappa_{xx} + \kappa_{xy} - \kappa_{xx} & 0 \\ 0 & 0 & \kappa_{zz} \end{bmatrix}$$

$$M_{ij} = \begin{bmatrix} \kappa_{xy} & i\kappa_{xy} & 0 \\ -i\kappa_{xy} & \kappa_{xy} & 0 \\ 0 & 0 & \kappa_{zz} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \kappa_{xy} & i\kappa_{xy} & 0 \\ -i\kappa_{xy} & \kappa_{xy} & 0 \\ 0 & 0 & \kappa_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned}\kappa_{xy}E_x + i\kappa_{xy}E_y + 0 &= 0 \\ -i\kappa_{xy}E_x + \kappa_{xy}E_y + 0 &= 0 \\ 0 + 0 + \kappa_{zz}E_z &= 0\end{aligned}$$

$$E_x = -iE_y \quad E_z = 0 \quad \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix} = E_x \begin{bmatrix} -i \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = E_x \begin{bmatrix} 1 \\ i \\ 0 \end{bmatrix} \text{ Dairesel kutuplu ışık}$$

$$n_L^2 = \kappa_{xx} - \kappa_{xy}$$

$$M_{ij} = \begin{bmatrix} n^2 - \kappa_{xx} & i\kappa_{xy} & 0 \\ -i\kappa_{xy} & n^2 - \kappa_{xx} & 0 \\ 0 & 0 & n^2 - \kappa_{zz} - n^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \kappa_{xx} - \kappa_{xy} - \kappa_{xx} & i\kappa_{xy} & 0 \\ -i\kappa_{xy} & \kappa_{xx} - \kappa_{xy} - \kappa_{xx} & 0 \\ 0 & 0 & \kappa_{zz} \end{bmatrix}$$

$$M_{ij} = \begin{bmatrix} -\kappa_{xy} & i\kappa_{xy} & 0 \\ -i\kappa_{xy} & -\kappa_{xy} & 0 \\ 0 & 0 & \kappa_{zz} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -\kappa_{xy} & i\kappa_{xy} & 0 \\ -i\kappa_{xy} & -\kappa_{xy} & 0 \\ 0 & 0 & \kappa_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

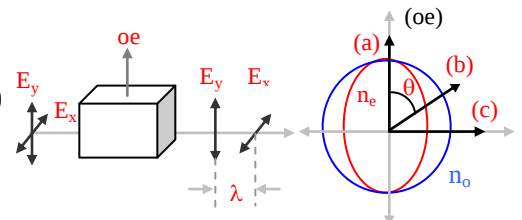
$$\begin{aligned}-\kappa_{xy}E_x + i\kappa_{xy}E_y + 0 &= 0 \\ -i\kappa_{xy}E_x - \kappa_{xy}E_y + 0 &= 0 \\ 0 + 0 + \kappa_{zz}E_z &= 0\end{aligned}$$

$$E_x = iE_y \quad E_z = 0 \quad \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix} = E_x \begin{bmatrix} i \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = E_x \begin{bmatrix} 1 \\ i \\ 0 \end{bmatrix} \text{ Dairesel kutuplu}$$

Soru 3: Kırılma indisi şekilde verilen tek eksenli bir kristal ($n_o:1,6584$, $n_e:1,4864$) kullanılarak $\lambda=550$ nm dalgaboylu ışığın elektrik alan bileşenleri arasında λ kadarlık bir optik yol farkı oluşturulmak isteniyor.

Bu durumda ışık;

- Optik eksen (oe) doğrultusunda ($\theta=0^\circ$) (5 puan)
- Optik eksen (oe) ile 45° ($\theta=45^\circ$) (10 puan)
- Optik eksene (oe) dik ($\theta=90^\circ$) (5 puan)



açılar yapacak şekilde ilerlerse kristalin kalınlığı ve ışığın kristale girmeden önce kutuplanma doğrultusu ne olmalıdır?

Çözüm:

o-ışını ile e-ışını arasındaki λ yol farkının oluşabilmesi için faz farkının 2π olması gerekmektedir.

$$\text{optik faz farkı} = \frac{2\pi}{\lambda_{\text{bosluk}}} |n_o L - n_e L| \quad 2\pi = \frac{2\pi}{\lambda_{\text{bosluk}}} |n_o - n_e| L$$

a) **Optik eksen (oe) doğrultusunda ($\theta=0^\circ$)**

Optik eksen doğrultusunda gelen ışık tek bir kırılma indisi göreceğinden optik yol farkı OLUŞTURULAMAZ!

b) **Optik eksen ile ($\theta=45^\circ$)**

Optik eksen ile ($\theta=45^\circ$) gelen ışığın bir bileşeninin göreceği kırılma indisi $n_o=1,6584$, diğeri ise

$$\frac{1}{n^2(\theta=45^\circ)} = \frac{\cos^2(45^\circ)}{n_o^2} + \frac{\sin^2(45^\circ)}{n_e^2} = \frac{0.5}{(1,6584)^2} + \frac{0.5}{(1,4864)^2} = 0,4081$$

$$n'_e = 1.5654$$

Işığın bileşenleri sırası ile $n_o=1,6584$, $n'_e=1,5654$ kırılma indislerini göreceklelerinden bileşenler arasında faz farkı oluşturabilmek için ışığın elektrik alanı (kutuplanma doğrultusu) hem hızlı ekseninde (n_e) hem de yavaş ekseninde (n_o) olmalıdır. Bu durumda optik faz farkı maksimum olur. Boşluk dalgaboyu cinsinden kalınlık L

$$L = \frac{\lambda_{\text{bosluk}}}{|n_o - n'_e|} = \frac{\lambda_{\text{bosluk}}}{|1.6584 - 1.5654|} = \frac{\lambda_{\text{bosluk}}}{(0,093)} = 10,75\lambda_{\text{bosluk}}$$

c) **Optik eksene dik ($\theta=90^\circ$)**

Optik eksen ile ($\theta=90^\circ$) gelen ışığın bileşenleri sırası ile $n_o=1,6584$, $n_e=1,4864$ kırılma indislerini göreceklelerinden bileşenler arasında faz farkı oluşturabilmek için ışığın elektrik alanı (kutuplanma) hem hızlı ekseninde hem de yavaş ekseninde olmalıdır. Bu durumda optik faz farkı maksimum olur. Boşluk dalgaboyu cinsinden kalınlık L

$$L = \frac{\lambda_{\text{bosluk}}}{|n_o - n_e|} = \frac{\lambda_{\text{bosluk}}}{(0,172)} = 5,82\lambda_{\text{bosluk}}$$

bulunur.

Soru 4: Optik eksen z doğrultusunda olan tek eksenli ($n_x=n_y=n_o$, $n_z=n_e$) LiNbO₃ kristali için;

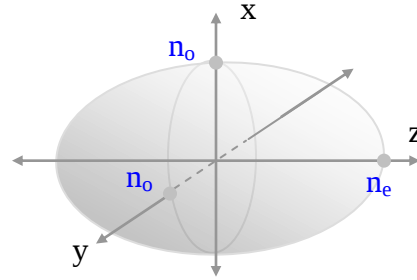
a) Kırılma indisi elipsoidini çiziniz (10 puan)

b) optik eksen (z-eksen) doğrultusunda uygulanan elektrik alanın $E(0,0,E_z)$ sonucunda kırılma indisinde oluşacak değişimi hesaplayınız.

Çözüm:

3m simetrik kristal yapılar tek eksenli olup (sadece bir optik eksen) elektrik alanının yokluğunda asal eksen (x,y,z) boyunca kırılma indisi ellipsoidi ($n_{11}(0)=n_x(0)=n_o$, $n_{22}(0)=n_y(0)=n_o$, $n_{33}(0)=n_z(0)=n_e$) şeklinde verilebilir.

$$\frac{x^2}{n_o^2} + \frac{y^2}{n_o^2} + \frac{z^2}{n_e^2} = 1$$



r_{lk} matrisi Çizelge 9.1'deki trigonal 3m simetri gösteren malzeme için uygulanan dış elektrik alanının en genel durumu için kırılma indisi elipsoidi

$$\Delta\left(\frac{1}{n^2}\right)_l = \sum_{k=1}^3 r_{lk} E_k = \begin{bmatrix} 0 & -r_{22} & r_{13} \\ 0 & r_{22} & r_{13} \\ 0 & 0 & r_{33} \\ 0 & r_{51} & 0 \\ r_{51} & 0 & 0 \\ -r_{22} & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{aligned} \left[\frac{1}{n^2}\right]_1 &= \frac{1}{n_o^2} - r_{22}E_y + r_{13}E_z \\ \left[\frac{1}{n^2}\right]_2 &= \frac{1}{n_o^2} + r_{22}E_y + r_{13}E_z \\ \left[\frac{1}{n^2}\right]_3 &= \frac{1}{n_e^2} + r_{33}E_z \\ \left[\frac{1}{n^2}\right]_4 &= +r_{51}E_y \\ \left[\frac{1}{n^2}\right]_5 &= +r_{51}E_x \\ \left[\frac{1}{n^2}\right]_6 &= -r_{22}E_x \end{aligned} \quad (9.7)$$

elde edilir.

(a) Elektrik alan $\mathbf{E}(0,0,E_z)$ doğrultusunda uygulandığında $E_x=E_y=0$ alınır kırılma indisi elipsoidinde bu katsayılar kullanılırsa yeni hali ile kırılma indisi elipsoidi

$$\left[\frac{1}{n_o^2} + r_{13}E_z\right]_1 x^2 + \left[\frac{1}{n_o^2} + r_{13}E_z\right]_2 y^2 + \left[\frac{1}{n_e^2} + r_{33}E_z\right]_3 z^2 = 1 \quad (9.8)$$

şeklini alır. Bu ifadede çapraz terimler (xy, xz, yz) olmadığı için koordinat dönüşümüne gerek kalmadan yeni kırılma indis değerleri bulunabilir. Asal eksen boyunca olan kırılma indis değerleri

$$\frac{1}{n_x^2(E)} = \frac{1}{n_o^2} + r_{13}E_z$$

$$\frac{1}{n_y^2(E)} = \frac{1}{n_o^2} + r_{13}E_z$$

$$\frac{1}{n_z^2(E)} = \frac{1}{n_e^2} + r_{33}E_z$$

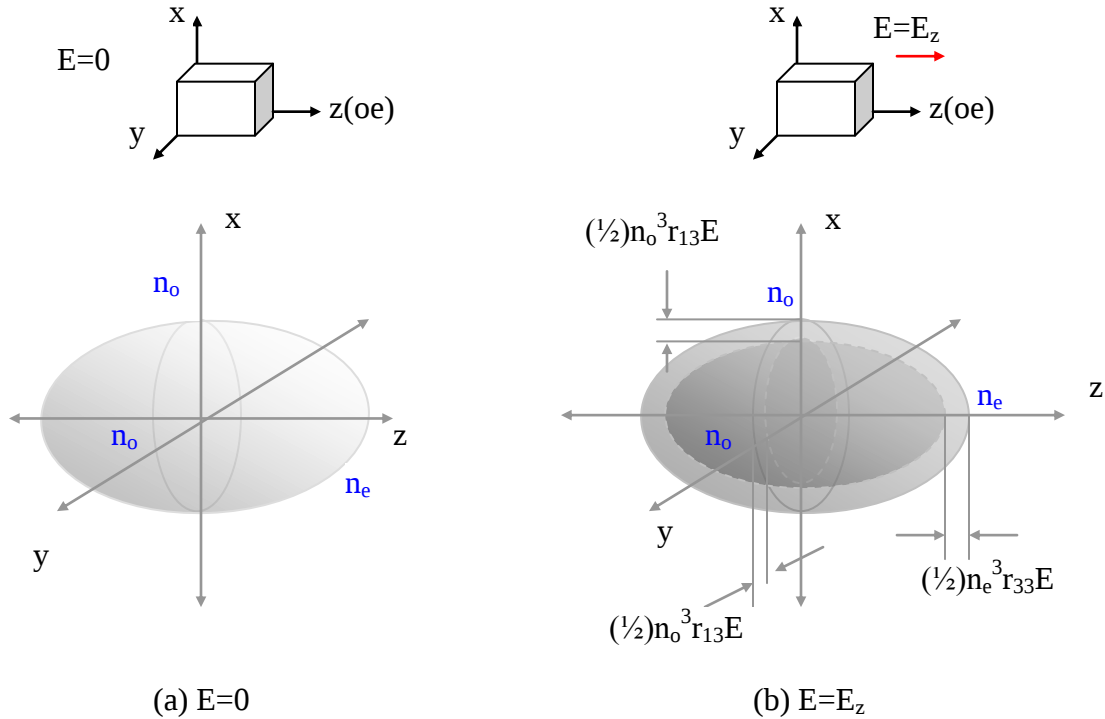
şeklinde $r_{ik}E$ kadar değişmiştir. Elektrik alana bağlı olarak kırılma indisindeki değişimi, r elektro-optik sabitleri küçük olduğundan (Binom açılımı $(1+x)^{-1/2} \approx 1-x$) kırılma indisleri basit formda

$$n_x(E) \cong n_o - \frac{1}{2}n_o^3r_{13}E_z$$

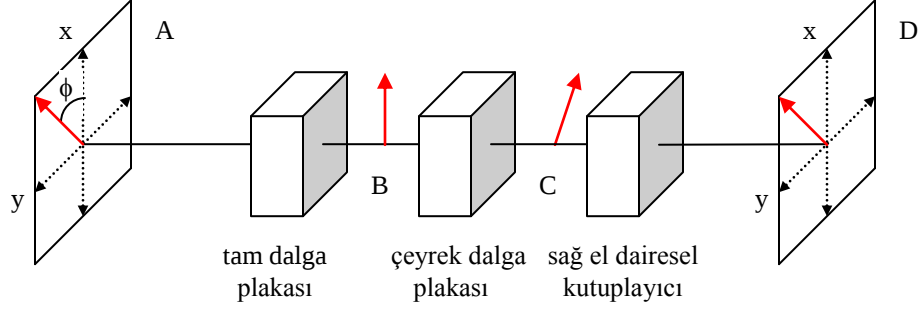
$$n_y(E) \cong n_o - \frac{1}{2}n_o^3r_{13}E_z$$

$$n_z(E) \cong n_e - \frac{1}{2}n_e^3r_{33}E_z$$

elektrik alan cinsinden ifade edilebilir. Görüldüğü gibi optik eksen boyunca uygulanan elektrik alan kristalin tek eksenlilik özelliğini değiştirmeden sadece normal (n_o) ve anormal (n_e) kırılma indis değerlerini sırası ile $r_{13}E_z$ ve $r_{33}E_z$ kadar azalmıştır.



Soru 5: A düzleminde düşey x eksenine ile $\phi=45^\circ$ ’lik açı yapan ve doğrusal olarak kutuplanmış ışık sırası ile, uygun şekilde yerleştirilmiş **tam dalga plakası**, hızlı eksen yatay (y-doğrultusu) doğrultuda olan **çeyrek dalga plakası** ve sağ el yönünde **dairesel kutuplayıcıdan** geçerek D düzlemine gelmektedir.



Buna göre

- B, C ve D noktalarında ışığın kutupluluk durumu nedir? (10 puan)
- Optik elemanların eşdeğer Jones matrisi nedir? (10 puan)

Çözüm:

a) B noktasında ışığın kutupluluk durumu nedir?

A düzlemindeki dalganın Jones vektör gösterimi $E_A = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$

Tam dalga plakası ışığın kutuplanma doğrultusunu değiştirmeyeceğinden A düzlemindeki dalganın kutuplanma doğrultusu ile aynı olacaktır.

Tam dalga plakası için Jones matrisi $M_\lambda = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$

$$E_B = M_\lambda \cdot E_A$$

$$E_B = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1+0 \\ 0+1 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad E_B = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

C noktasında ışığın kutupluluk durumu nedir?

C düzlemindeki ışığın kutupluluk durumu ışığın plakaya girmeden önceki Jones vektörü ile çeyrek dalga plakasını temsil eden uygun Jones matrisi ile çarpılarak elde edilebilir

$$E_C = M_{\lambda/4} \cdot E_B$$

Çeyrek dalga plakasının hızlı ekseninin yatay doğrultuda (y-doğrultusu) olduğunu durumda Jones matrisi

$$M_{\lambda/4} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & i \end{bmatrix}$$

$$E_C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & i \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ i \end{bmatrix}$$

Dalga C noktasında “sol el doğrultusunda dairesel” kutuplanmıştır.

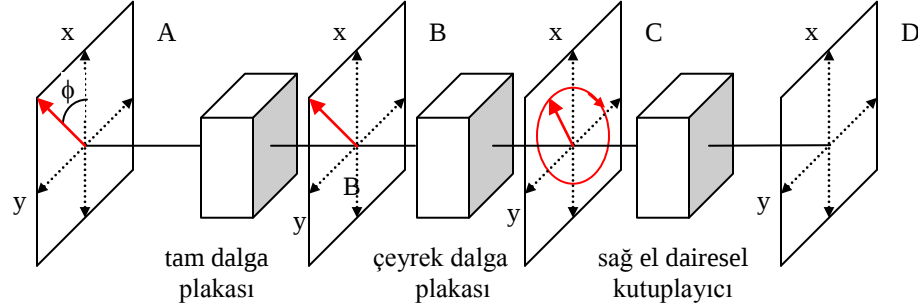
b) Işığın D düzlemindeki son kutuplanma durumu ne olur?

Dairesel kutuplayıcı için Jones matrisi

$$M_{SagEl-Dairesel} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & i \\ -i & 1 \end{bmatrix}$$

$$E_D = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & i \\ -i & 1 \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ i \end{bmatrix} = \frac{1}{2\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1-1 \\ -i+i \end{bmatrix} = \frac{1}{2\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} = 0$$

Görüldüğü gibi D düzleminde ışığın hiçbir alan bileşeni yoktur!



D noktasında elektrik alanın hiç bir bileşeni bulunmaz yani D düzleminde ışık şiddeti sıfırdır!

c) *Optik elemanların eşdeğer Jones matrisi nedir?*

$$M_{Esdeğer} = (M_{SagEl-Dairesel}) \cdot (M_{\lambda/4}) \cdot (M_{\lambda})$$

$$M_{Esdeğer} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & i \\ -i & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & i \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & i \\ -i & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & i \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -i & +i \end{bmatrix}$$

Eşdeğer Jones matrisi ile yukardaki sonucu elde etmeye çalışırsak

$$E_D = M_{Esdeğer} \cdot E_A$$

$$E_D = (M_{Esdeğer}) \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \right) = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -i & i \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1-1 \\ -i+i \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} = 0$$

Yukarıdaki sonuç ile aynı!